



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 20 448 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**G 01 M 15/00**

②1 Aktenzeichen: 100 20 448.1  
②2 Anmeldetag: 26. 4. 2000  
④3 Offenlegungstag: 31. 10. 2001

DE 100 20 448 A 1

⑦1 Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Bargende, Michael, Prof. Dr.-Ing., 70435 Stuttgart, DE;  
Koller, Rudolf, Dipl.-Ing., 71384 Weinstadt, DE;  
Withalm, Gert, 73061 Ebersbach, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Optimierung des Betriebs eines Verbrennungsmotors

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Optimierung des Betriebs eines Verbrennungsmotors, insbesondere hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Zielgrößen, wobei der Verbrennungsmotor mehrere Aktuatoren aufweist, die von einem Steuergerät in Abhängigkeit von Kennfeldern betätigt werden, die für eine Vielzahl von Betriebspunkten des Verbrennungsmotors Stellgrößen für die Aktuatoren enthalten. Dabei werden für jeden Betriebspunkt für jeden Aktuator von vorbestimmten Belastungsgrenzen des Verbrennungsmotors abhängige Einstellgrenzen für die Stellgrößen in eine Datenbank eingelesen. Für jeden Betriebspunkt wird für eine bestimmte Anzahl von Variationen der Stellgrößen der Verbrennungsmotor betrieben, wobei die Zielgrößen für den Motorbetrieb gemessen und in der Datenbank gespeichert werden. Mit den Variationen der Stellgrößen und den dazu ermittelten Zielgrößen wird ein die Abhängigkeit der Zielgrößen von den Stellgrößen beschreibendes physikalisches Motormodell kalibriert. Für jeden Betriebspunkt werden mit dem kalibrierten physikalischen Motormodell in Abhängigkeit von einstellbaren Kriterien für die Zielgrößen und innerhalb der Einstellgrenzen diejenigen Stellgrößen berechnet und in der Datenbank gespeichert, die für den jeweiligen Betriebspunkt die eingestellten Kriterien optimal erfüllen. Die Kennfelder des Steuergerätes werden in Abhängigkeit der berechneten optimalen Stellgrößen bedatet.

DE 100 20 448 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Optimierung des Betriebs eines Verbrennungsmotors, insbesondere hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Zielgrößen. Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

[0002] Ein moderner Verbrennungsmotor weist mehrere Aktuatoren auf, wie z. B. eine Drosselklappe, mehrere Einspritzventile, ein Abgasrückführungsventil, einen Verstellantrieb für einen Turbolader mit verstellbarer Turbinengeometrie, eine Kraftstoffpumpe, ein Regelelement für einen Ladeluftkühler. Diese Aktuatoren werden üblicherweise mit einem Steuergerät in Abhängigkeit von Kennfeldern betätigt, die für eine Vielzahl von Betriebspunkten des Verbrennungsmotors die passenden Stellgrößen für die Aktuatoren enthalten. Verbrennungsmotoren müssen immer strenger werdende Abgasgrenzwerte erfüllen und sollen dabei möglichst niedrigere Kraftstoffverbräuche und Geräuschemissionen zeigen. Beispielsweise muß bei diesen Motoren das Verbrennungsgeräusch durch eine entsprechende Abstimmung der Verbrennung möglichst leise gehalten werden. Es ist klar, daß zur Erzielung einer langen Lebenszeit vorgegebene Belastungsgrenzen hinsichtlich thermischer und/oder mechanischer Beanspruchungen der Bauteile nicht überschritten werden dürfen.

[0003] Mit Hilfe der am Verbrennungsmotor ausgebildeten Aktuatoren und der zugehörigen Hilfsaggregate wird versucht, in Abhängigkeit des jeweiligen Motorbetriebszustandes, z. B. die Abgasemission und den Kraftstoffverbrauch zu beeinflussen. Eine entsprechende Sensorik ermöglicht dabei die Ermittlung des jeweiligen Motorbetriebszustandes. Das Steuergerät des Verbrennungsmotors betätigt die Aktuatoren im Sinne einer Steuerung und/oder einer Regelung in Abhängigkeit von Kennfeldern bzw. Kennlinien, in denen die Stellgrößen für die Aktuatoren in Abhängigkeit der Betriebszustände abgelegt sind. Beispielsweise wird ein Motorbetriebszustand regelmäßig durch die Motorlast und die Motordrehzahl definiert, wobei sich die Motorlast bei einem Verbrennungsmotor, der für alle Zylinder eine gemeinsame Hochdruckleitung für die Kraftstoffzuführung ("Common-Rail-Prinzip") aufweist, besonders einfach aus der Einspritzdauer und dem Einspritzdruck ermitteln läßt, da die Motorlast von der eingespritzten Kraftstoffmenge abhängt.

[0004] Die bei einem Serienfahrzeug vorhandene Sensorik ermöglicht keine direkte Messung der oben genannten Belastungsgrenzen und Zielgrößen für den Motorbetrieb, wie Kraftstoffverbrauch, Abgas- und Geräuschemissionen sowie thermische und mechanische Motorbelastung. Dementsprechend müssen für jeden einzelnen Betriebspunkt des Verbrennungsmotors die optimalen Werte für die Stellgrößen der Aktuatoren in einem speziellen Motorprüfstand ermittelt werden, der die entsprechende Sensorik für die Messung der Zielgrößen und Motorbelastungen aufweist. Das Auffinden der optimalen Stellgrößen in einem Motorprüfstand und deren Speicherung in Kennfeldern wird als Bedatung des Steuergerätes bezeichnet. Diese Bedatung wird derzeit manuell von einem Versuchingenieur oder Applikateur durchgeführt. Durch die steigende Anzahl von Aktuatoren und durch die wechselseitige Verkopplung von Stellgrößen und Zielgrößen wird diese Bedatung des Steuergerätes extrem aufwendig und zeitintensiv, so daß im Hinblick auf vorgegebene Zielgrößen optimale Stellgrößen nicht mehr gefunden werden können. Die in den Kennfeldern abgelegten Stellgrößen stellen daher regelmäßig nur noch einen Kompromiß dar, der im Rahmen eines vertretbaren Aufwandes noch die Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen

Zielgrößen gewährleistet.

[0005] Herkömmlicherweise geht der Applikateur nach dem Prinzip der sogenannten "Rasterfahndung" vor, um die optimalen Stellgrößen für den Betrieb des Verbrennungsmotors zu finden. Hierbei müssen zur Suche des Minimums einer Zielfunktion alle möglichen Stellgrößen der Aktuatoren systematisch eingestellt werden. Da der funktionale Zusammenhang der Aktuatorenstellungen und der jeweiligen Zielfunktion mehrere lokale Minima aufweisen kann, müssen für jede einzelne Aktuatorstellung wenigstens fünf Variationen am Motorprüfstand eingestellt werden. Durch das notwendige Abwarten, bis sich jeweils ein konstanter oder statischer Motorzustand eingestellt hat und die notwendige Zeit zur Erfassung der Meßwerte ergibt sich ein Zeitbedarf pro Variation von etwa 6 bis 8 Minuten. Wenn beispielsweise 8 unabhängig voneinander verstellbare Aktuatoren vorliegen, ergibt sich dadurch ein Zeitbedarf von ca. 40.000 Stunden pro Betriebspunkt. Da ein Kennfeld in der Regel 256 Betriebspunkte umfaßt, kann eine Rasterfahndung bei modernen Verbrennungsmotoren normalerweise nicht zu einer optimalen Kombination der Stellgrößen für den gesamten Betriebsbereich des Verbrennungsmotors führen.

[0006] Mit Hilfe von sogenannten "Ansatzfunktionen" kann die Anzahl der notwendigen Variationen für die Aktuatoreinstellungen gegenüber der Rasterfahndung beträchtlich reduziert werden. Hierbei werden die funktionalen Zusammenhänge zwischen Stellgrößen und Zielgrößen mittels vorgegebener Polynome mathematisch beschrieben. Diese Polynome beschreiben dabei keinen physikalischen Zusammenhang, sondern sind rein empirisch durch Approximation bereits vorhandener Daten aufgestellte Polynome. Die in den Polynomen auftretenden Koeffizienten müssen durch voneinander unabhängige Variationen der Stellgrößen an jedem Betriebspunkt berechnet werden. Sinnvollerweise müssen mehr Variationen durchgeführt werden, als Koeffizienten in den Polynomen auftreten, um entscheiden zu können, ob der mittels des Polynoms beschriebene Zusammenhang am jeweiligen Betriebspunkt gilt oder ausreichend genau ist. Eine erfolgreiche Anwendung der Ansatzfunktionen setzt daher eine umfangreiche Datenbasis voraus. Bei wenigen Aktuatoren, d. h. nicht mehr als 3 Aktuatoren, können die Ansatzfunktionen sinnvoll eingesetzt werden. Bei einer größeren Anzahl von Einstellgrößen, die bei modernen Verbrennungsmotoren vorliegt, wird die Ermittlung der Ansatzfunktionen schnell aufwendig. Insbesondere dann, wenn sich die Aktuatorenstellungen gegenseitig beeinflussen, kann sich die Ermittlung der Ansatzfunktionen als extrem aufwendig oder sogar unmöglich herausstellen.

[0007] Für jeden neuen Verbrennungsmotor muß eine solche Bedatung des Steuergerätes durchgeführt werden. Darüberhinaus muß für jede den Betrieb des Verbrennungsmotors beeinflussende Konstruktionsänderung des Verbrennungsmotors eine neue Bedatung des Steuergerätes durchgeführt werden.

[0008] Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit dem Problem, die Optimierung des Betriebs eines Verbrennungsmotors zu vereinfachen.

[0009] Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0010] Die Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, am Motorprüfstand, d. h. On-Line, eine Datenbasis für jeden Betriebspunkt zu schaffen, die es in Verbindung mit einem physikalischen Motormodell ermöglicht, den funktionalen Zusammenhang zwischen den Stellgrößen und den Zielgrößen zu beschreiben. Hierdurch ist es dann möglich, am Rechner, d. h. Off-Line, die Optimierung der Stellgrößen in Abhängigkeit gewünschter Zielgrößen durchzuführen. Da beim erfindungsgemäßen Verfahren die eigentliche Opti-

mierung der Stellgrößen am Computer bzw. am Rechner erfolgt, können die einzelnen Variationen der Stellgrößen extrem schnell durchgeführt werden. Bei heutigen Rechnern benötigt die Ermittlung der Zielgrößen für eine erfindungsgemäß Off-Line durchgeführte Stellgrößenvariation etwa 5 Sekunden, während eine herkömmliche On-Line durchgeführte Stellgrößenvariation - wie oben angeführt - etwa 6 bis 8 Minuten benötigt. Dieser Vorteil wird jedoch mit schnelleren und leistungstärkeren Rechnern zunehmend vergrößert. Der sich dadurch ergebende wirtschaftliche Vorteil liegt auf der Hand.

[0011] Unter einem physikalischen Motormodell wird hierbei die mathematisch physikalische Beschreibung des Verbrennungsmotors als Modell verstanden. Dabei ist es durchaus möglich, das Motormodell in mehrere Teilmodelle aufzuteilen, beispielsweise jeweils ein separates physikalisches Teilmodell für den Ladeluftkühler, den Turbolader, die Abgasrückführung. Jedes der Teilmodelle beschreibt vollständig das für die automatische Motoroptimierung relevante motorische Verhalten und ermöglicht die Ermittlung der erforderlichen Zielgrößen in Abhängigkeit der Stellgrößen. Das physikalische Motormodell beschreibt insbesondere die Thermodynamik und Strömungsdynamik des Systems "Verbrennungsmotor". Mechanische Einflüsse, z. B. in Form der Motorreibung, können durch Kennfelder berücksichtigt werden. Das physikalische Motormodell kann dabei mehrere halbempirische Näherungsfunktionen zur Berechnung enthalten, deren Koeffizienten betriebspunktabhängig kalibriert werden müssen. Dementsprechend benötigt auch ein physikalisches Modell Variationen der Stellgrößen, um es an jedem Betriebspunkt abzustimmen. Jedoch ist die Anzahl dieser Parameter-Variationen bzw. Stellgrößen-Variationen deutlich kleiner als beispielsweise bei der Ermittlung der Ansatzfunktionen. Denn im physikalischen Motormodell sind z. B. die thermodynamischen Zusammenhänge enthalten und müssen nicht durch empirische Formeln beschrieben werden. Insbesondere können die z. B. bei Ansatzfunktionen auftretenden Schwierigkeiten hinsichtlich gegenseitiger Abhängigkeiten der Stellgrößen vermieden werden.

[0012] Das erfindungsgemäße Optimierungsverfahren benötigt für jeden Betriebspunkt die Einstellgrenzen für die Stellgrößen aller Aktuatoren. Diese Einstellgrenzen sind entweder aus früheren Versuchen bereits bekannt und können dann ohne weiteres aus einem entsprechenden Datenspeicher in die Datenbank eingelesen werden. Falls die Einstellgrenzen jedoch nicht bekannt sind, müssen diese im Motorenprüfstand ermittelt werden. Zu diesem Zweck wird bei einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Einstellen und Variieren der Stellgrößen ein spezielles Entwicklungssteuergerät verwendet, das die Verstellung der Stellgröße eines Aktuators unabhängig von den Stellgrößen der anderen Aktuatoren ermöglicht. Auf diese Weise kann eine eindeutige Zuordnung zwischen den Stellgrößen und den Betriebsgrenzen sowie den Zielgrößen erreicht werden.

[0013] Dies ist von besonderer Bedeutung, da ein herkömmliches Motorsteuergerät stets so aufgebaut ist, daß die Stellgrößen der Aktuatoren auf eine vorbestimmte Art miteinander verknüpft sind. Dies hat zur Folge, daß die Einstellung einer Stellgröße bei einem einzigen Aktuator stets eine Verstellung der Stellgröße bei wenigstens einem anderen Aktuator zur Folge hat. Die Verwendung eines solchen Entwicklungssteuergerätes hat demnach für das erfindungsgemäße Optimierungsverfahren eine extreme Vereinfachung zur Folge.

[0014] Wenn der Verbrennungsmotor mit einem grundsätzlich herkömmlichen Seriensteuergerät betrieben werden soll, bei dem eine interne Verknüpfung der Stellgrößen der

Aktuatoren vorliegt, muß dies bei der Bedatung der Kennfelder dieses Seriensteuergerätes berücksichtigt werden, da die berechneten optimierten Stellgrößen durch die Wechselwirkung mit anderen Stellgrößen nicht zu den gewünschten Zielgrößen führen können. Entsprechend einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Optimierungsverfahrens können für die Bedatung der Kennfelder des Seriensteuergerätes die Kennfelddaten des Seriensteuergerätes für jeden Betriebspunkt so lange variiert werden, bis die vom Seriensteuergerät generierten und miteinander verknüpften Stellgrößen den mit dem physikalischen Motormodell berechneten optimalen Stellgrößen entsprechen. Auf diese Weise erfolgt eine Adaption der optimierten Stellgrößen an das jeweilige Seriensteuergerät. Diese Adaption kann systematisch und somit programmgesteuert durchgeführt werden.

[0015] Das der Erfindung zugrundeliegende Problem wird auch durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst.

[0016] Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

[0017] Es versteht sich, daß die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0018] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

[0019] Es zeigen, jeweils schematisch,

[0020] Fig. 1 eine Prinzipdarstellung des physikalischen Motormodells,

[0021] Fig. 2 eine Prinzipdarstellung für den Ablauf der Datenerfassung zur Bildung einer Datenbasis,

[0022] Fig. 3 eine Prinzipdarstellung für den Ablauf der Datenoptimierung und Steuergerätedatung.

[0023] Entsprechend Fig. 1 kann ein physikalisches Motormodell 1 aus mehreren Teilmodellen 2 bis 7 aufgebaut sein. Das Teilmodell 2 beschreibt beispielsweise die Vorgänge eines Ladeluftkühlers. Das Teilmodell 3 kann eine mathematische bzw. physikalische Beschreibung der Vorgänge in einem Turbolader widerspiegeln. Die Funktionsweise einer Abgasrückführungseinrichtung kann z. B. im Teilmodell 4 erläutert sein, während das Teilmodell 5 beispielsweise den Reibungseinfluß innerhalb des Motors beschreibt. Im Teilmodell 6 können die Zusammenhänge der Kraftstoffverbrennung in den Motorzylindern dargestellt werden, während das Teilmodell 7 beispielsweise die Ladungswechselvorgänge beschreibt. Die vorgenannten Teilmodelle 2 bis 7 sind lediglich beispielhaft aufgezählt, so daß durchaus weitere Teilmodelle hinzukommen können. Ebenso können mehrere Teilmodelle zusammengefaßt werden.

[0024] Im physikalischen Motormodell 1 werden naturgemäß ausschließlich mathematische bzw. physikalische Größen verarbeitet. Dementsprechend erhält das Motormodell 1 an einer Eingangsseite 8 physikalische Eingangsgrößen 9 und 10, die durch Pfeile symbolisiert sind. Die physikalischen Eingangsgrößen 9 repräsentieren beispielsweise elektrische Stellsignale, die durch einen Pfeil 11 symbolisiert sind und einer Übertragungseinheit 12 zugeführt werden, welche die elektrischen Stellsignale 11 in physikalische Eingangsgrößen 9 für das Motormodell 1 umwandelt. Die Stellsignale 11 repräsentieren ihrerseits die Stellgrößen der Aktuatoren, die in Fig. 1 in einem Feld 13 zusammengefaßt sind.

[0025] Andere physikalische Eingangsgrößen 10 repräsentieren beispielsweise elektronische Meßsignale 14, die gemäß dem zugeordneten Pfeil ebenfalls einer Übertragungseinheit 15 zugeführt werden, die aus den eingehenden elektrischen Meßsignalen 14 physikalische Eingangsgrößen 10 ermittelt. Die Meßsignale 14 repräsentieren ihrerseits Meßgrößen von Sensoren, die hier in einem Feld 16 zusammengefaßt sind. Diese Sensoren sind dabei Bestandteil einer Sensorik des Verbrennungsmotors und können beispielsweise bei einem Verbrennungsmotor mit Common-Rail-System den Einspritzdruck, den sogenannten "Rail-Druck" messen.

[0026] Aus den physikalischen Eingangsgrößen 9 und 10 ermittelt das physikalische Motormodell 1 mit Hilfe seiner Teilmodelle 2 bis 7 physikalische Ausgangsgrößen 17, 18, 19, die hier ebenfalls durch Pfeile symbolisiert sind und an einer Ausgangsseite 20 des Motormodells 1 bereitgestellt werden. Beispielsweise liefert das Motormodell 1 physikalische Ausgangsgrößen 17, die zunächst wieder einer Übertragungseinheit 21 zugeführt und dort in elektronische Signale 22 transferiert werden, die beispielsweise Meßgrößen repräsentieren. Diese Meßgrößen 22 können ihrerseits wieder mittels einer Sensorik 23 des Verbrennungsmotors gemessen werden. Das Motormodell 1 berechnet somit auch Meßgrößen, die sich aufgrund der gewählten Aktuatorenstellungen am Verbrennungsmotor selbsttätig einstellen. Insofern werden hier berechnete Meßgrößen 23 von konditionierten bzw. vorgegebenen Meßgrößen 16 unterschieden.

[0027] Das Motormodell 1 liefert auch physikalische Ausgangsgrößen 18, die Zielgrößen 24 entsprechen, die den Anlaß für die Motoroptimierung geben. Zielgrößen 24 sind beispielsweise die Schadstoffemission, die Geräuschentwicklung und der Kraftstoffverbrauch des Verbrennungsmotors.

[0028] Des weiteren berechnet das Motormodell Ausgangsgrößen 19, die Belastungsgrenzen 25 des Verbrennungsmotors zugeordnet sind, die bei der Optimierung des Verbrennungsmotors zwingend berücksichtigt werden müssen. Derartige Belastungsgrenzen 25 sind beispielsweise die Abgastemperatur und der Spitzendruck bei der Kraftstoffverbrennung.

[0029] Das physikalische Motormodell 1 liefert somit Ausgangsgrößen 17, 18, 19, d. h. Meßgrößen 23, Zielgrößen 24, Belastungsgrenzen 25, in Abhängigkeit von Eingangsgrößen 9, 10, d. h. Stellgrößen 13 und Meßgrößen 16.

[0030] Dieses Motormodell 1 enthält mehrere halbempirische Näherungsfunktionen zur Berechnung bestimmter physikalischer Größen, beispielsweise für die  $\text{NO}_x$ -Bildung. Die Koeffizienten dieser Näherungsfunktionen müssen betriebspunktabhängig kalibriert werden, um das physikalische Motormodell 1 an den jeweiligen Verbrennungsmotor anzupassen. Dementsprechend benötigt das physikalische Motormodell Variationen der Stellgrößen 13, um es an jedem Betriebspunkt des Verbrennungsmotors abzustimmen.

[0031] Entsprechend Fig. 2 wird zur Durchführung des erfindungsgemäßen Optimierungsverfahrens ein Motorprüfstand 26 benötigt, der hier durch einen mit unterbrochener Linie dargestellten Rahmen symbolisiert ist. In diesem Motorprüfstand 26 kann ein Verbrennungsmotor 27 betrieben werden, wobei der Motorprüfstand 26 über eine geeignete Sensorik verfügt, mit denen die Zielgrößen 24 des Motorbetriebs ermittelt werden können. Der Motorprüfstand 26 wird beispielsweise mit Hilfe einer Prüfstandsteuerung 28 betrieben, wobei diese Prüfstandsteuerung 28 hier eine Meßdatenerfassung enthält, die mit der Sensorik des Prüfstandes 26 verbunden ist.

[0032] Die Prüfstandsteuerung 28 kommuniziert mit einer Datenverarbeitungsanlage 29 und leitet dieser die Betriebsdaten des Motorprüfstandes 26 sowie die Meßwerte der

Sensorik zu. Die Datenverarbeitungsanlage 29 umfaßt dabei einen Rechner 30 mit einer Ermittlungseinheit 31, einer Kalibriereinheit 32, einer Modelleinheit 33 und einer Überprüfungseinheit 34. Außerdem verfügt der Rechner 30 über eine Datenbank 35. Die Ermittlungseinheit 31 enthält eine zur Ermittlung der Einstellgrenzen geeignete Programmierung, d. h. die Ermittlungseinheit 31 repräsentiert die dazu erforderlichen Algorithmen. Dementsprechend enthält die Kalibriereinheit 32 eine zur Kalibrierung des physikalischen Motormodells 1 geeignete Programmierung bzw. repräsentiert die dazu erforderlichen Algorithmen. In der Modelleinheit 33 ist das physikalische Motormodell 1 enthalten, wobei die Modelleinheit 33 die entsprechende Programmierung bzw. die zugehörigen Algorithmen repräsentiert. In entsprechender Weise enthält die Überprüfungseinheit 34 eine zur Überprüfung der Kalibrierung des physikalischen Motormodells 1 geeignete Programmierung, d. h. auch die Überprüfungseinheit 34 repräsentiert die dazu erforderlichen Algorithmen. Die Datenbank 35 kann in den Rechner 30 integriert sein oder extern angeordnet sein.

[0033] Eine Steuerungseinheit 36 enthält ein Entwicklungssteuergerät 37 zur Betätigung der nicht näher dargestellten Aktuatoren des Verbrennungsmotors 27. Die Steuerungseinheit 36 ist mit der Datenverarbeitungsanlage 29 bzw. mit deren Rechner 30 gekoppelt. Ein zusätzlicher Rechner oder Applikationsrechner 38 bildet eine Schnittstelle zwischen Rechner 30 und Entwicklungssteuergerät 37.

[0034] Eine erste Phase der Motoroptimierung, die auch als "On-Line-Optimierung" bezeichnet werden kann, läuft im wesentlichen wie folgt ab:

[0035] Für jeden zu optimierenden Betriebspunkt des Verbrennungsmotors 27 werden für jeden einzelnen Aktuator die Einstellgrenzen für die Stellgrößen 13 in die Datenbank 35 eingelesen. Sofern die Einstellgrenzen des Verbrennungsmotors 27 an sich bekannt sind, erfolgt dieses Einlesen entweder manuell oder aus einem entsprechenden Speichermedium. Die Einstellgrenzen hängen dabei von Belastungsgrenzwerten des Verbrennungsmotors 27 ab, wie z. B. Abgastemperatur, Spitzendruck, Gleichlaufschwankungen der Verbrennung.

[0036] Für den Fall, daß die Einstellgrenzen nicht bekannt sind, läuft das Programm der Ermittlungseinheit 31 ab, wobei jeder einzelne Aktuator über die Steuerungseinheit 36 so lange verstellt wird, bis eine der vorbestimmten und einstellbaren Belastungsgrenzen erreicht ist. Die so ermittelten Einstellgrenzen werden in der Datenbank 35 gespeichert.

[0037] Um diese Ermittlung der Einstellgrenzen durchführen zu können, wird das spezielle Entwicklungssteuergerät 37 benötigt, das eine Verstellung der Stellgröße eines Aktuators unabhängig von den Stellgrößen der anderen Aktuatoren ermöglicht. Ein Seriensteuergerät kann hierzu nicht verwendet werden, da dort regelmäßig eine interne Verknüpfung der Stellgrößen vorgegeben ist, so daß die Verstellung einer Stellgröße eines Aktuators regelmäßig die Verstellung der Stellgröße von wenigstens einem weiteren Aktuator zur Folge hat.

[0038] Die Überwachung der Belastungsgrenzen erfolgt dabei durch die Sensorik des Motorprüfstandes 26. Bei dieser Art der Ermittlung der Einstellgrenzen muß der Verbrennungsmotor 27 im Motorprüfstand 26 in Abhängigkeit der jeweils eingestellten Stellgrößen betrieben werden.

[0039] Nach der Ermittlung der Einstellgrenzen läuft das Programm der Kalibriereinheit 32 ab, wobei der Motor 27 für eine definierte Anzahl von Variationen der Stellgrößen betrieben wird. Der Motorprüfstand 26 ermöglicht dann die Messung der Zielgrößen, die sich aufgrund der jeweils eingestellten Stellgrößen-Variation am Verbrennungsmotor 27

einstellen. Bei der Auswahl der Stellgrößen für die jeweilige Variation werden die zuvor ermittelten Einstellgrenzen berücksichtigt. Die minimale Anzahl an einzustellenden und auszumessenden Stellgrößen-Variationen entspricht dabei der Anzahl der zu bestimmenden Koeffizienten im physikalischen Motormodell. Bei einer größeren Anzahl als der minimal erforderlichen Anzahl wird die beste Annäherung nach der Methode der "kleinsten Fehlerquadratsumme" rechnerisch gesucht.

[0040] Nach dieser Kalibrierung des physikalischen Motormodells wird das Programm der Überprüfungseinheit 34 abgearbeitet, um festzustellen, ob das kalibrierte Motormodell ausreichend genau arbeitet. Zur Überprüfung wird dann wenigstens eine weitere Stellgrößen-Variation am Verbrennungsmotor 27 eingestellt, um die durch den Motorbetrieb daraus resultierenden Zielgrößen (Ist-Zielgrößen) On-Line zu erfassen. Parallel dazu werden die Zielgrößen (Soll-Zielgrößen) in Abhängigkeit dieser Stellgrößen-Variation mit Hilfe des kalibrierten Motormodells Off-Line berechnet. Anschließend werden die am realen Verbrennungsmotor 27 gemessenen Ist-Zielgrößen mit den für den virtuellen Verbrennungsmotor des Motormodells berechneten Soll-Zielgrößen verglichen. Die Überprüfungseinheit 34 stellt anhand dieses Vergleichs fest, ob das kalibrierte Motormodell hinreichend genau mit der Realität übereinstimmt oder ob zu große Abweichungen zwischen Realität und Modell vorliegen.

[0041] Für den Fall, daß das kalibrierte Motormodell nicht hinreichend genau arbeitet, werden beispielsweise die Einstellgrenzen der Aktuator-Stellgrößen reduziert, um den möglichen Einstellbereich etwas einzuschränken. Anschließend wird die Kalibrierung des Motormodells wiederholt und erneut eine Überprüfung durchgeführt.

[0042] Falls das kalibrierte Motormodell hinreichend genau mit der Realität übereinstimmt, werden die berechneten Koeffizienten des kalibrierten physikalischen Motormodells für den jeweiligen Betriebspunkt in der Datenbank 35 gespeichert.

[0043] Auch für die Einstellung der Stellgrößen-Variationen, d. h. für die Kalibrierung des physikalischen Motormodells sowie für die Überprüfung des kalibrierten Motormodells, ist die Verwendung des Entwicklungssteuergerätes 37 von besonderem Vorteil, da hier einzelne Stellgrößen gezielt, also unabhängig von den anderen Stellgrößen, eingestellt werden können.

[0044] Diese Prozedur wird für jeden einzelnen Betriebspunkt durchgeführt.

[0045] Auf diese Weise wird in der Datenbank 35 eine Datenbasis geschaffen, mit deren Hilfe die im folgenden beschriebene zweite Phase der Motoroptimierung, die sogenannte "Off-Line-Optimierung" durchgeführt werden kann:

[0046] Entsprechend Fig. 3 wird mittels eines Optimierungsrechners 53, der zur Durchführung eines mathematischen Verfahrens, z. B. eine genetische Analyse, programmiert ist, für jeden einzelnen Betriebspunkt die optimale Kombination der Stellgrößen für die Aktuatoren im Hinblick auf vorbestimmte Zielgrößen, wie z. B. gesetzliche vorgeschriebene Grenzwerte für Schadstoffemission und Geräuschemission und ein geringer Kraftstoffverbrauch, berechnet. Hierbei werden die Stellgrößen am virtuellen Motor des kalibrierten physikalischen Motormodells 39 "eingestellt" bzw. als Eingangsgrößen verwendet, um daraus ohne Motorbetrieb im Prüfstand, also Off-Line, die daraus resultierenden Zielgrößen zu berechnen. Hierbei berücksichtigt der Optimierungsrechner 53 außerdem die Belastungsgrenzen des Verbrennungsmotors sowie die Einstellgrenzen der Aktuatoren. Die dazu erforderliche Datenbasis 40 wird durch die Datenbank 35 zur Verfügung gestellt, in der die re-

levanten Daten gespeichert sind.

[0047] Bei dieser eigentlichen Optimierungsprozedur zeigt sich der große Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens in aller Deutlichkeit, denn während für jede Stellgrößen-Kombination bei einer herkömmlichen On-Line-Optimierung mit einem realen Motorbetrieb im Prüfstand stets ein stationärer Motorbetrieb abgewartet werden muß, was ca. 6 bis 8 Minuten beansprucht, um die Zielgrößen zuverlässig messen zu können, benötigt der virtuelle Motor des kalibrierten Motormodells 39 dafür bei den heutigen Rechnern nur etwa 5 Sekunden. Bei einer fortschreitenden Rechnerentwicklung läßt sich diese Rechenzeit außerdem weiter verkürzen, während die Zeitdauer für die Einstellung eines stationären Motorbetriebes unverändert hoch bleibt.

[0048] Wenn nach dem Programmablauf des Optimierungsrechners 53 für alle Betriebspunkte die optimalen Stellgrößen-Kombinationen vorliegen, ist die eigentliche Motoroptimierung im wesentlichen abgeschlossen.

[0049] Der Verbrennungsmotor soll jedoch regelmäßig mit einem Steuergerät ausgestattet werden, dem sogenannten "Seriensteuergerät", bei dem interne Verknüpfungen Wechselwirkungen zwischen den Stellgrößen hervorrufen, so daß eine weitere Prozedur erforderlich ist, um dieses Seriensteuergerät an die optimierten Stellgrößen anzupassen.

[0050] Ein übliches Seriensteuergerät ist intern zweiteilig strukturiert und besitzt einen Datenrahmen mit den Kennfeldern sowie einen Funktionsrahmen, der aus den im Datenrahmen abgelegten Stellgrößen die Stellsignale für die Aktuatoren in Echtzeit berechnet und über entsprechende Endstufen des Seriensteuergerätes die Aktuatoren damit ansteuert. Die Bedienung des Seriensteuergerätes, z. B. durch einen Applikateur, betrifft nur den Datenrahmen; der Funktionsrahmen ist dem Applikateur nicht zugänglich. Änderungen im Funktionsrahmen können regelmäßig nur durch den Steuergerätelieferanten durchgeführt werden.

[0051] Um dem Applikateur die Bedienung des Datenrahmens zu ermöglichen und um die notwendigen Berechnungen in Echtzeit durchführen zu können, ist der Datenrahmen üblicherweise so strukturiert, daß maximal zweidimensionale Kennfelder existieren, z. B. Raildruck als Funktion von Drehzahl und Last. Höher dimensionale Zusammenhänge, z. B. Raildruck als Funktion von Drehzahl, Last und Ladedruck werden in Form von 2-dimensionalen Kennfeldern, 1-dimensionalen Kennlinien und 0-dimensionalen Korrekturwerten dargestellt. Dies wird damit begründet, daß höherdimensionale Zusammenhänge komplex sind und von einem Applikateur nicht mehr manuell bearbeitet werden können. Die funktionalen Zusammenhänge sind in der Regel in Form diskreter Stützstellen dargestellt, d. h. im Datenrahmen existieren regelmäßig keine mathematischen Funktionen, z. B. Polynome, deren Koeffizienten zu bedaten wären. Die Bedienung richtet sich damit zwangsläufig nach diesen Stützstellen. Diese Stützstellen können manuell bearbeitet werden, da sie im Unterschied zu abstrakten Koeffizienten relativ anschaulich sind. Außerdem ermöglichen Stützstellen eine einfache, sichere und schnelle Berechenbarkeit, da zwischen den Stützstellen üblicherweise nur linear interpoliert wird. Darüber hinaus werden im Datenrahmen als unabhängige Variablen sogenannte "pseudophysikalische" Größen verwendet bzw. berechnet, um auch hier wieder Größen zur Verfügung zu stellen, die dem motorischen Verständnis des Applikateurs entsprechen. Beispielsweise sind die Drehzahl und die Last derartige unabhängige Variablen. Die Verwendung dieser pseudophysikalischen Größen ermöglicht außerdem einen stufenweisen Aufbau der Bedienung des Seriensteuergerätes, wobei zunächst diejenigen Kennfelder und Kennlinien bedatet werden, die zu den pseudophysikalischen Größen führen, und erst anschließend die

eigentliche Optimierungsbedeutung durchgeführt wird.

[0052] Zusammenfassend heißt dies, daß herkömmliche Seriensteuergeräte hinsichtlich ihrer Struktur für eine manuelle Bedienung ausgelegt sind. Hierbei wird in Kauf genommen, daß durch diese Struktur eine systematische Verstellung einzelner Einstellgrößen nicht oder nur mit großem Aufwand möglich ist, da die scheinbar unabhängigen Variablen selbst wieder abhängige Variablen einer vorhergehenden Bedienung bzw. Berechnung sind. Um auch hier grundsätzlich die Möglichkeit einer manuellen Nachbearbeitung durch einen Applikateur offen zu halten, wird derzeit an dieser Struktur der Seriensteuergeräte festgehalten.

[0053] Entsprechend Fig. 3 ist zum Abgleich der aufgefundenen optimalen Stellgrößen-Kombinationen an das Seriensteuergerät eine Adaptionseinheit 41 vorgesehen, die vom Optimierungsrechner 53 einerseits für jeden Betriebspunkt die zugehörige optimierte Stellgrößen-Kombination 42 und andererseits die zu diesem Betriebspunkt zugehörige Sensorsignal-Kombination 43 erhält.

[0054] Die Übertragung der Stellgrößen-Kombination 42 ist in Fig. 3 durch einen Pfeil symbolisiert, während ein anderer Pfeil die Übertragung der zugehörigen Sensorgrößen-Kombination 43 symbolisiert. Die Adaptionseinheit 41 führt die einem bestimmten Betriebspunkt 46 zugeordnete Sensorsignal-Kombination 43 einer Steuerungseinheit 44 zu, wobei die jeweiligen Betriebspunkte 46 hier durch ein mit einem Verbindungspfeil 45 verknüpft Rechteck symbolisiert sind. Die Steuerungseinheit 44 enthält das Seriensteuergerät 47 sowie einen für die Bedienung erforderlichen Applikationsrechner 48. Das Seriensteuergerät enthält Kennfelder, in deren Abhängigkeit jedem eingehenden Betriebspunkt 46 eine Stellgrößen-Kombination 49 zugeordnet wird, die das Seriensteuergerät 47 über eine entsprechende Verbindung der Adaptionseinheit 41 übermittelt. Diese Verbindung ist hier durch einen Verbindungspfeil 50 symbolisiert, der mit einem Rechtecksymbol verbunden ist, das diejenige Stellgrößen-Kombination 49 repräsentiert, die das Seriensteuergerät 47 als Reaktion auf den zugeführten Betriebspunkt 46 liefert.

[0055] Die Adaptionseinheit 41 verändert dann für jeden Betriebspunkt 46 die Kennfelder des Datenrahmens des Seriensteuergerätes 47 systematisch solange, bis die von Seriensteuergerät 47 übermittelte Stellgrößen-Kombination 49 mit der vom Motormodell für diesen Betriebspunkt 46 berechneten optimalen Stellgrößen-Kombination 42 übereinstimmt. Die Beeinflussung der Kennfelder des Seriensteuergerätes 47 durch die Adaptionseinheit 41 ist in Fig. 3 durch eine Doppelpfeilverbindung 51 symbolisiert. Die veränderten und angepaßten Kennfelder 52 werden hierbei durch ein mit dem Verbindungspfeil 51 gekoppeltes Rechteck symbolisiert. Die Adaptionseinheit 41 arbeitet dabei programmgesteuert, also automatisch, wobei die Veränderung der Kennfelder 52 über eine entsprechende Ansteuerung des Adaptionrechners 48 erfolgt. Die Adaption des Seriensteuergerätes 47 erfolgt hierbei in einer sogenannten "Hardware-in-the-Loop-Umgebung" oder kurz "HIL-Umgebung", bei der die Hardware, also das Seriensteuergerät 47, direkt in die Programm-Prozedur der Adaptionseinheit 41 eingebunden ist.

[0056] Wenn für jeden einzelnen Betriebspunkt die Kennfelder des Seriensteuergerätes 47 an die berechneten optimalen Stellgrößen angepaßt sind, ist die Bedienung des Seriensteuergerätes 47 im Sinne einer lokalen Optimierung beendet.

[0057] Unter einer "lokalen Optimierung" wird hierbei die Suche nach der optimalen Stellgrößen-Kombination für jeden einzelnen Betriebspunkt verstanden.

[0058] Hiervon wird die sogenannte "globale Optimierung"

unterschieden, bei der zunächst für einen vorbestimmten Testzyklus, z. B. ECE-Test oder FTP75-Test, Ersatzbetriebspunkte aus den von diesem Testzyklus betroffenen Betriebspunkten berechnet werden. Die Ersatzbetriebspunkte sind im Unterschied zu den Betriebspunkten, aus denen sie hervorgehen, bezüglich eines vorbestimmten Parameters gewichtet. Vorzugsweise sind die Ersatzbetriebspunkte entsprechend ihres Zeitanteils im Testzyklus gewichtet.

[0059] Die globale Optimierung hat zum Ziel, entsprechend den vorgegebenen Zielgrößen, z. B. minimaler Kraftstoffverbrauch und minimales Verbrennungsgeräusch bei Einhaltung vorgeschriebener Grenzwerte für die Abgasemissionen und bei Einhaltung vorgegebener Belastungsgrenzen, den Motorbetrieb über alle Ersatzbetriebspunkte zu optimieren. Im wesentlichen bedeutet dies, daß global definierte Grenzwerte, z. B. der gesamte  $\text{NO}_x$ -Ausstoß über alle Ersatzbetriebspunkte, also über den gesamten Testzyklus, dazu benutzt werden können, daß Ergebnis der lokalen Optimierung zu verbessern. Hierbei ist es durchaus möglich, daß der globale Grenzwert bei einzelnen Betriebspunkten, das heißt lokal, überschritten wird, um z. B. einen besseren Kraftstoffverbrauch zu erzielen, solange über alle Ersatzbetriebspunkte, das heißt über den gesamten Testzyklus, der globale Grenzwert eingehalten wird.

[0060] Diese globale Optimierung wirkt sich in der Regel nur für einen Teilbereich der Kennfelder aus. Hinsichtlich aller Ersatzbetriebspunkte können mit Hilfe des (lokal) kalibrierten physikalischen Motormodells die optimalen Stellgrößen-Kombinationen für die Ersatzbetriebspunkte berechnet werden. Eine derartige globale Optimierung wird durch das erfindungsgemäße Optimierungsverfahren extrem vereinfacht.

[0061] Die vorgeschriebene Optimierung des Motorbetriebs betrifft grundsätzlich die stationäre Optimierung, das heißt die Bedienung des Seriensteuergerätes bei stationären Motorzuständen. Eine instationäre Optimierung, also die Bedienung von Korrekturfunktionen, die während instationärer Motorbetriebszustände, wie z. B. Beschleunigung, Verzögerung, Startverhalten und Warmlauf, das Motorverhalten optimieren, kann hierbei in der üblichen Weise durchgeführt werden. Das heißt, es wird zunächst von einer stationären Optimierung ausgegangen, so daß die Güte der instationären Optimierung entscheidend von der Güte der stationären Optimierung abhängt. Durch die erfindungsgemäß verbesserte stationäre Optimierung wird somit auch die darauf aufbauende instationäre Optimierung des Motorbetriebs verbessert.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Optimierung des Betriebs eines Verbrennungsmotors, insbesondere hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Zielgrößen, wobei der Verbrennungsmotor mehrere Aktuatoren aufweist, die von einem Steuergerät in Abhängigkeit von Kennfeldern betätigt werden, wobei die Kennfelder für einen Vielzahl von Betriebspunkten des Verbrennungsmotors Stellgrößen für die Aktuatoren enthalten, mit folgenden Schritten:

A: für jeden Betriebspunkt werden für jeden Aktuator von vorbestimmten Belastungsgrenzen des Verbrennungsmotors abhängige Einstellgrenzen für die Stellgrößen in eine Datenbank eingelesen, B: für jeden Betriebspunkt wird für eine bestimmte Anzahl von Variation der Stellgrößen der Verbrennungsmotor betrieben, wobei die Zielgrößen für den Motorbetrieb gemessen und in der Da-



- tenbank gespeichert werden,  
 C: mit den Variationen der Stellgrößen und den dazu ermittelten Zielgrößen wird ein die Abhängigkeit der Zielgrößen von den Stellgrößen beschreibendes physikalisches Motormodell kalibriert,  
 D: für jeden Betriebspunkt werden mit dem kalibrierten physikalischen Motormodell in Abhängigkeit von einstellbaren Kriterien für die Zielgrößen und innerhalb der Einstellgrenzen diejenigen Stellgrößen berechnet und in der Datenbank gespeichert, die für den jeweiligen Betriebspunkt die eingestellten Kriterien optimal erfüllen,  
 E: die Kennfelder des Steuergerätes werden in Abhängigkeit der berechneten optimalen Stellgrößen bedatet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Schritt A die Einstellgrenzen dadurch ermittelt werden, daß für jeden Aktuator die zugehörige Stellgröße solange verstellt wird, bis einer der vorbestimmten Belastungsgrenzwerte erreicht ist.
  3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß für den Verbrennungsmotor ein Seriensteuergerät als Steuergerät verwendet wird, das einen Datenrahmen und einen Funktionsrahmen aufweist, wobei der Datenrahmen die Kennfelder enthält und wobei der Funktionsrahmen eine vorbestimmte Verknüpfung der Stellgrößen der Aktuatoren enthält, so daß die Verstellung der Stellgröße eines Aktuators bei wenigstens einem anderen Aktuator die Verstellung der zugehörigen Stellgröße bewirkt.
  4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zum Einstellen und Variieren der Stellgrößen ein Entwicklungssteuergerät verwendet wird, das die Verstellung der Stellgröße eines Aktuators unabhängig von den Stellgrößen der anderen Aktuatoren ermöglicht.
  5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß für die Bedatung der Kennfelder des Seriensteuergerätes die Kennfelddaten des Datenrahmens für jeden Betriebspunkt solange variiert werden, bis die vom Funktionsrahmen generierten und miteinander verknüpften Stellgrößen den mit dem kalibrierten physikalischen Motormodell berechneten optimalen Stellgrößen entsprechen.
  6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Schritten C und D eine Überprüfung des kalibrierten physikalischen Motormodells durchgeführt wird, wobei diese Überprüfung die folgenden Schritte aufweist:
    - a: Einstellen wenigstens einer zusätzlichen Variation von Stellgrößen,
    - b: Betreiben des Verbrennungsmotors mit dieser Stellgrößen-Variation,
    - c: Messen von sich dabei ergebenden Ist-Zielgrößen,
    - d: Berechnen von Soll-Zielgrößen aus der Stellgrößen-Variation mit dem kalibrierten physikalischen Motormodell,
    - e: Vergleichen der gemessenen Ist-Zielgrößen mit den berechneten Soll-Zielgrößen,
 wobei im Fall einer hinreichenden Übereinstimmung zwischen den Ist-Zielgrößen und den Soll-Zielgrößen zu Schritt D übergegangen wird.
  7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß im Falle einer unzulässigen Abweichung zwischen den Ist-Zielgrößen und den Soll-Zielgrößen die Einstellgrenzen verändert werden und das Verfahren ab

Schritt B einschließlich wiederholt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß Schritt C für jeden Betriebspunkt separat durchgeführt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß für Betriebspunkte, die von einem vorbestimmten Testzyklus betroffen sind, Schritt D wie folgt geändert wird:
  - a: aus den vom Testzyklus betroffenen Betriebspunkten werden Ersatzbetriebspunkte berechnet, die hinsichtlich eines einstellbaren Parameters gewichtet sind,
  - b: für die Ersatzbetriebspunkte werden mit dem kalibrierten physikalischen Motormodell in Abhängigkeit von einstellbaren Kriterien für die Zielgrößen und innerhalb der Einstellgrenzen diejenigen Stellgrößen berechnet und in der Datenbank gespeichert, die für die Gesamtheit aller Ersatzbetriebspunkte die einstellbaren Kriterien für die Zielgrößen optimal erfüllen.
10. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, mit einem Motorprüfstand (26), in dem der Verbrennungsmotor (27) betrieben werden kann, mit einer Sensorik, die zum Messen der Zielgrößen des Motorbetriebs geeignet ist, mit einer Datenverarbeitungsanlage (29) umfassend eine Datenbank (35), eine Modelleinheit (33), die eine das physikalische Motormodell beschreibende Programmierung enthält, eine Kalibriereinheit (32), die eine zur Kalibrierung des physikalischen Motormodells geeignete Programmierung enthält, einen Rechner (30).
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Datenverarbeitungsanlage (29) eine Ermittlungseinheit (31) aufweist, die eine zur Ermittlung der Einstellgrenzen geeignete Programmierung enthält.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Datenverarbeitungsanlage (29) eine Überprüfungseinheit (34) aufweist, die eine zur Überprüfung der Kalibrierung des physikalischen Motormodells geeignete Programmierung enthält.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung ein Entwicklungssteuergerät (37) aufweist, das die Verstellung der Stellgröße eines Aktuators unabhängig von den Stellgrößen der anderen Aktuatoren ermöglicht.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung ein Seriensteuergerät (47) aufweist, das einen Datenrahmen und einen Funktionsrahmen aufweist, wobei der Datenrahmen die Kennfelder enthält und wobei der Funktionsrahmen eine vorbestimmte Verknüpfung der Stellgrößen der Aktuatoren enthält, derart, daß die Verstellung der Stellgröße eines Aktuators bei wenigstens einem anderen Aktuator die Verstellung der zugehörigen Stellgröße bewirkt.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Datenverarbeitungsanlage (29) eine Adaptionseinheit (41) aufweist, die eine Programmierung enthält, die für die Bedatung der Kennfelder des Seriensteuergerätes (47) die Kennfelddaten des Datenrahmens für jeden Betriebspunkt solange variiert, bis die vom Funktionsrahmen generierten und miteinander verknüpften Stellgrößen den mit dem kalibrierten physikalischen Motormodell berech-

neten optimalen Stellgrößen entsprechen.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Datenverarbeitungsanlage (29) eine Globaloptimierungseinheit aufweist, die eine Programmierung enthält, die für Betriebspunkte, die von einem vorbestimmten Testzyklus betroffen sind, Ersatzbetriebspunkte berechnet, die hinsichtlich eines einstellbaren Parameters gewichtet sind, und für diese Ersatzbetriebspunkte mit dem kalibrierten physikalischen Motormodell in Abhängigkeit von einstellbaren Kriterien für die Zielgrößen und innerhalb der Einstellgrenzen diejenigen Stellgrößen berechnet und in der Datenbank speichert, die für die Gesamtheit aller Ersatzbetriebspunkte die einstellbaren Kriterien für die Zielgrößen optimal erfüllen.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65



- Leerseite -

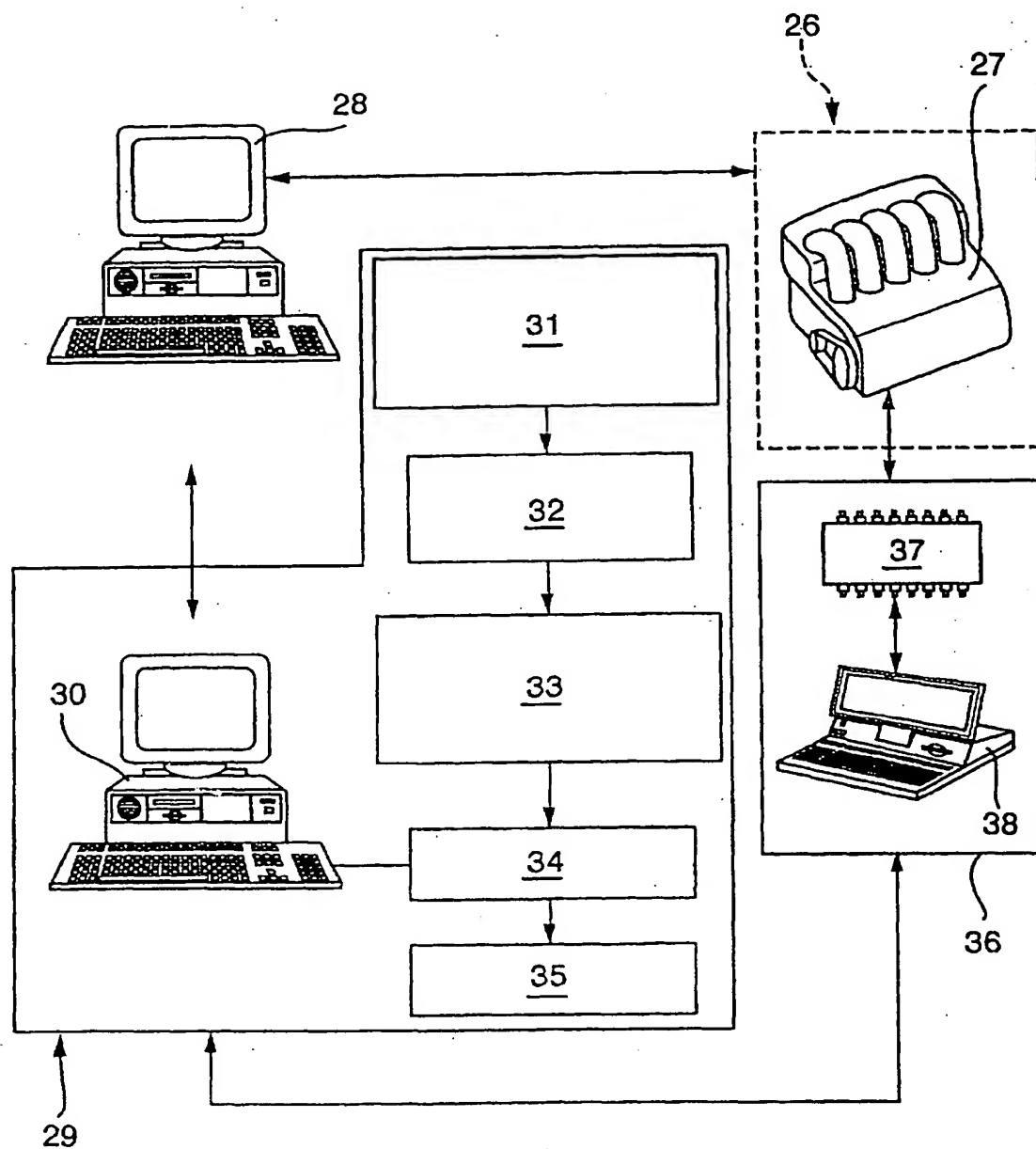


Fig. 2

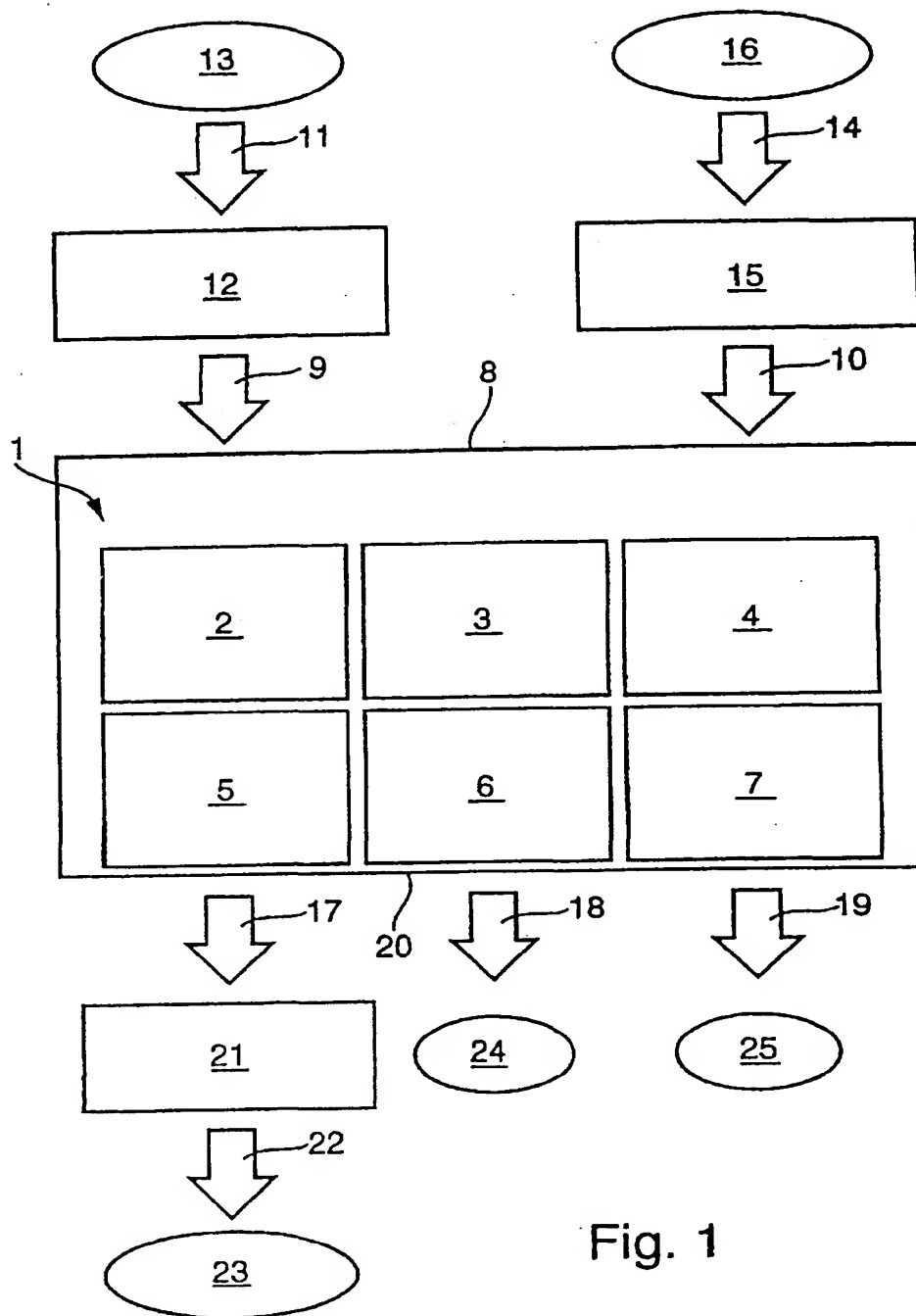


Fig. 1

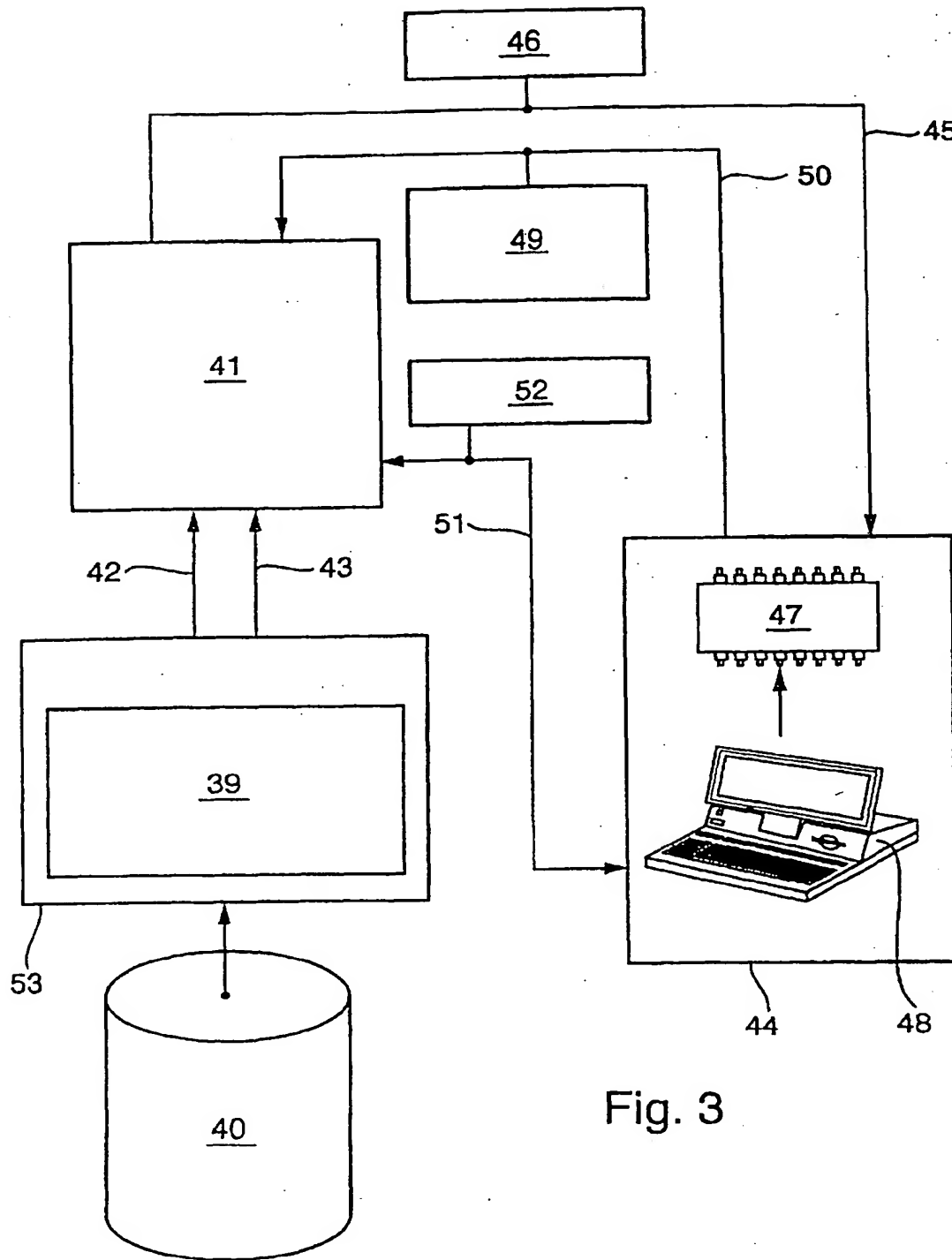


Fig. 3